

УДК 658.011.56

© В.О. Кондратець

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ НАВАНТАЖЕННЯ ОПОРНОГО РОЛИКА КОНВЕЄРА В УМОВАХ ОСЕРЕДНЕНОГО ПОТОКУ РУДИ

Представлены результаты исследований случайного процесса нагрузки опорного ролика конвейера в условиях усредненного потока дробленой руды.

Представлені результати досліджень випадкового процесу навантаження опорного ролика конвеєра в умовах осередненого потоку дробленої руди.

The results of investigations of a random process the load bearing roller conveyor in terms of average flux of crushed ore.

**Вступ.** В Україні переважна частка залізних руд підлягає збагаченню, де найбільш витратними є процеси подрібнення вихідної сировини. Широке розповсюдження при подрібненні вихідної дробленої руди отримали технологічні схеми з кульовими млинами, що працюють у замкнутому циклі з спіральним класифікатором. Такі технологічні умови не дозволяють у кульовому млині підтримувати задане співвідношення руда/вода в наслідок складності визначення параметра, що приводить до значних економічних збитків і гальмування реалізації Державної науково-технічної програми «Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі» та вимагає розробки теми «Комп'ютерно інтегрована система автоматичного регулювання співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням» (0106U000981), яка входить до плану наукової тематики Кіровоградського національного технічного університету. Оскільки удосконалення конвеєрних вагів при розв'язанні поставленої задачі має важливе значення, дослідження випадкового процесу навантаження опорного ролика конвеєра є актуальним.

Запропоновано ряд підходів стабілізації розрідження пульпи у кульових млинах даних циклів подрібнення руди, однак вони за різними причинами не отримали розповсюдження. Найбільш ефективним є спосіб автоматичної стабілізації розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням [1], запропонований автором даної статті та О.М. Сербулом. Цей спосіб реалізується пристроєм автоматичної стабілізації розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням [2] тих же авторів. Вони передбачають застосування конвеєрних вагів з якомога вищою точністю. Увагу конвеєрним вагам ще в 1964 р. приділяють С.А Волотковський і В.О. Бунько [3] та ін. На недоліки конвеєрних вагів вказують Б.Д. Кошарський та ін. [4]. У роботі [5] вказано, що недоліком конвеєрних вагів є недодержування гарантованої похибки вимірювання. Серед причин вказано на негативний вплив степені нерівномірності розташування матеріалу на конвеєрній стрічці, однак даний процес ніхто не досліджував.

**Формулювання цілей статті.** Метою даної роботи є дослідження випадкового процесу навантаження опорного ролика конвеєра при осередненому потоці руди шляхом його теоретичного описання та математичного моделювання за умов зміни базової відстані між несучими роликами.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Розподіл твердого на конвеєрній стрічці є нерівномірним і залежить від ряду факторів, до яких відносять і крупність шматків руди, що впливає на навантаження опорного ролика 2 (рис. 1). Впливовим фактором є базова відстань  $B$  між несучими роликами 1 і 3 (рис. 1). Базова відстань  $B$  може бути мінімальною, яка практично дорівнює сумі діаметрів опорного і несучого роликів, або може мати певне значення, яке набагато більше вказаного. У процесі руху матеріалу на конвеєрній стрічці він створює тиск на опорний ролик, який можливо зафіксувати перетворювачем 5. Впливу конвеєрної стрічки можливо позбавитись противагою 4. Навантаження опорного ролика при рухомому матеріалі буде випадковим процесом.

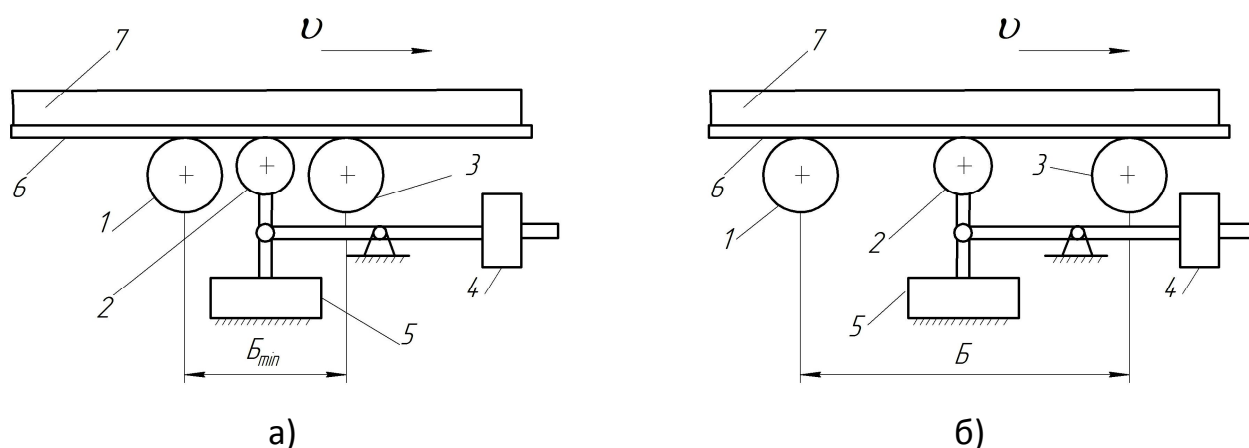


Рис. 1. Положення несучих і опорного ролика при мінімальній (а) і збільшеній базі (б): 1, 3 – несучі ролики; 2 – опорний ролик; 4 – противага; 5 – перетворювач тиску матеріалу; 6 – конвеєрна стрічка; 7 – сипкий матеріал;  $B$  – базова відстань між несучими роликами;  $v$  – швидкість і напрям руху

Дослідження випадкового процесу навантаження опорного ролика конвеєра розглянемо при осередненому потоці руди і довільних базових відстанях між несучими роликами. Для спрощення дослідження замінимо дійсний сипкий матеріал ідеальним, у якому всі шматки руди мають однаковий середній розмір і однакову правильну, наприклад кубічну форму, та знехтуємо жорсткістю конвеєрної стрічки.

Будь-який об'єм  $V$  рухомого подрібненого матеріалу можливо подати сумою однакових послідовно розташованих один за одним елементарних об'ємів  $\Delta V$ , довжина яких незначно відрізняється від розміру шматків руди. Для ідеального матеріалу кількість  $N$  шматків руди в об'ємі  $V$  визначиться відношенням

$$N = V_T / d^3, \quad (1)$$

де  $V_T$  – об'єм твердого в об'ємі  $V$ ;  $d$  – розмір грані шматка руди кубічної форми;  $d^3$  – об'єм одного шматка руди.

Математичне сподівання кількості шматків руди у кожному елементарному об'ємі дорівнює середньому їх числу  $n$

$$n = N/M = V_T / d^3 M, \quad (2)$$

де  $M$  – число елементарних об'ємів  $\Delta V$  в об'ємі  $V$ .

Дійсна ж кількість  $m$  шматків у кожному рухомому елементарному об'ємі визначається законами теорії ймовірностей.

Розглянемо розподіл шматків у двох елементарних об'ємах  $\Delta V_1$  і  $\Delta V_2$ , які знаходяться поруч, допускаючи, що сума шматків руди, що знаходяться у цих об'ємах, незначно відрізняється від середнього значення  $2n$ .

Знаходження кожного шматка в об'ємі  $\Delta V_1$  або в об'ємі  $\Delta V_2$  – події однаково імовірні, тобто  $p=q=0,5$ , де  $p$  – ймовірність перебування кожного шматка в об'ємі  $\Delta V_1$ ;  $q$  – ймовірність перебування кожного шматка в об'ємі  $\Delta V_2$ .

Ймовірність перебування кількості  $m$  шматків у кожному елементарному об'ємі визначається рівнянням

$$P_m = C_{2n}^m p^m q^{2n-m}, \quad (3)$$

де  $C_{2n}^m$  – кількість комбінацій з  $2n$  елементів по  $m$ .

При достатньо великому  $n$  рівняння (3) згідно локальній теорії Муавра-Лапласа можливо перетворити у асимптотичну формулу

$$P_m \cong \frac{1}{\sqrt{2npq}\sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{m-2np}{\sqrt{2npq}} \right)^2 \right]. \quad (4)$$

Підставивши у формулу (4) значення ймовірностей  $p=q=0,5$  і перетворивши її, отримаємо

$$P_m \cong \frac{1}{\sqrt{0,5n}\sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{m-n}{\sqrt{0,5n}} \right)^2 \right]. \quad (5)$$

де  $0,5n$  – дисперсія відхилень кількості шматків у елементарному об'ємі від середнього значення, що дорівнює  $\sigma^2$ .

З рівняння (5) витікає, що ймовірність перебування середньої кількості шматків руди ( $m-n=0$ ) визначається величиною  $P_c = 0,399/\sqrt{0,5n}$ . Поява відхилень

$(m-n) > 2\sigma = \pm\sqrt{2n}$  малоімовірна. Ймовірність появи максимального відхилення  $P_{\max} = \varphi(2)/\sqrt{0,5n} = 0,054/\sqrt{0,5n}$ , де  $\varphi(2)$  – функція

$\varphi(x) = \exp \left( -\frac{x^2}{2} \right) / \sqrt{2\pi}$  при значенні аргументу  $x = (m-n)/\sqrt{0,5n} = 2$ . Отже, можливо рахувати, що кількість шматків руди  $m$  у елементарних об'ємах  $\Delta V$  змінюється в межах від  $n - \sqrt{2n}$  до  $n + \sqrt{2n}$ .

Нехай конвеєрна стрічка з матеріалом, складеним з елементарних об'ємів  $\Delta V$ , переміщається через опорний ролик, який сприймає тиск лише одного елементарного об'єму  $\Delta V$ . При цьому довжина  $a$  сприймаючої площадки конвеєрної стрічки дорівнює довжині елементарного об'єму потоку  $\Delta V$ . При переміщенні конвеєрної стрічки опорний ролик будуть по чергову навантажувати послідовно розташовані елементарні об'єми матеріалу з різною кількістю шматків

руди. Тоді число частинок, що тисне на опорний ролик, у часі буде являти собою випадкову функцію  $\xi(t)$ . Математичне сподівання її буде дорівнювати сталій величині  $n$ , а дисперсія у часі також буде незмінною і буде дорівнювати дисперсії будь-якого перетину випадкової функції, оскільки кількість шматків руди у елементарних об'ємах потоку  $\Delta V$  змінюється в однакових межах від  $n - \sqrt{2n}$  до  $n + \sqrt{2n}$ . Дисперсія випадкової функції визначиться виразом

$$D = \sum_{i=1}^k (m_i - n)^2 p_i, \quad (6)$$

де  $m_i$  – число шматків руди, що тиснуть на опорний ролик;  $p_i$  – імовірність появи певної кількості шматків.

Очевидно, що дисперсія випадкової функції буде дорівнювати  $D=0,5n$ , а середнє квадратичне відхилення від середнього значення  $\sigma = \sqrt{0,5n}$ . Це відповідає випадку, коли базова відстань між несучими роликами є мінімальною і на опорний ролик наближено діє лише один елементарний об'єм потоку.

Випадкова функція часу  $\xi(t)$  являє собою зміну кількості відхилених від середнього значення шматків руди в зоні впливу на опорний ролик. Функція  $\xi(t)$  змінює свої значення як у бік збільшення, так і у бік зменшення кількості шматків руди відносно середнього значення  $n$ . Якщо довжина елементарного об'єму потоку  $\Delta V$  дорівнює  $a$ , то тривалість додатнього або від'ємного викиду випадкової функції за рівень математичного сподівання  $n$  буде дорівнювати

$$\tau_B = \frac{a \cdot c}{v}, \quad (7)$$

де  $c$  – число елементарних об'ємів потоку, які створили викид;  $v$  – швидкість потоку.

При незмінній швидкості руху матеріалу тривалість викидів буде визначатися лише числом елементарних об'ємів, що їх створюють. Тривалість викидів також буде випадковою функцією. Випадкова функція  $\xi(t)$  буде являти собою послідовність статистично розподілених у часі додатних і від'ємних викидів з випадковою тривалістю.

У випадку довільної базової відстані між несучими роликами опорний ролик одночасно сприймає тиск  $b$  елементарних об'ємів  $\Delta V$  потоку. Кількість шматків руди у часі  $t + \Delta t$ , що діють на опорний ролик, буде визначатись виразом

$$m = \sum_{i=1}^b m_i + m_{b+1} - m_0, \quad (8)$$

де  $\sum_{i=1}^b m_i$  – сума шматків руди у елементарних об'ємах, що знаходяться на базовій відстані між несучими роликами у даний момент часу (миттєве значення);  $m_{b+1}$  – число шматків у елементарному об'ємі потоку, що входить на ділянку базової відстані між несучими роликами;  $m_0$  – число шматків руди у елементар-

ному об'ємі, що виходить з ділянки базової відстані між несучими роликами;  $\Delta t$  – час проходження через опорний ролик одного елементарного об'єму потоку.

Оскільки на певній базовій відстані між несучими роликами одночасно знаходяться  $b$  елементарних об'ємів потоку з середнім значенням кількості шматків  $n$  у кожному з них, то математичне сподівання випадкової функції  $\xi(t)$  визначиться рівнянням

$$n_{\xi} = n_1 + n_2 + \dots + n_b = bn. \quad (9)$$

Отже, математичне сподівання випадкового процесу  $\xi(t)$  і у даному випадку є незмінною у часі величиною.

Дисперсія випадкової функції  $\xi(t)$ , що дорівнює дисперсії будь-якого її перетину, визначиться формулою

$$D_{\xi} = \sum_{i=1}^k \left( \sum_{i=1}^b m_i - bn \right)^2 p_i, \quad (10)$$

де  $p_i$  – імовірність появи даної суми відхилених шматків на базовій відстані;  $k$  – число можливих значень, які приймає сума відхилених шматків руди.

Середнє квадратичне відхилення числа шматків від середнього значення на базовій відстані  $B$  між несучими роликами, що відповідає  $b$  елементарним об'ємам, буде дорівнювати

$$\sigma_{\xi} = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left( \sum_{i=1}^b m_i - bn \right)^2 p_i}. \quad (11)$$

Зміна миттєвих значень випадкової функції, що визначається виразом (8), також буде являти собою послідовність статистично розподілених у часі додатних і від'ємних викидів, однак за рівень  $bn$ . Тривалість викиду тут при незмінній швидкості буде визначатись як параметром  $c$ , так і параметром  $b$ .

Важливою характеристикою випадкової функції  $\xi(t)$  є зв'язок між її значеннями у окремих перерізах. Цей зв'язок досліджувався шляхом математичного моделювання. Імовірність того, що в зоні контролю випадкового процесу опорним роликом певна кількість шматків руди відхилилась від середнього значення, знаходиться за формулою (5). Суму ймовірностей усіх можливих відхилень кількості шматків руди від середнього значення з одним знаком можна отримати взявши визначений інтеграл від 0 до  $2\sqrt{2n}$  з правої частини виразу (5). Сума ймовірностей додатного або від'ємного відхилення кількості шматків в елементарних об'ємах  $\Delta V$  над опорним роликом при переміщенні матеріального потоку буде складати величину, яка практично не відрізняється від 0,5. Сума ймовірностей відхилень з обома знаками складає наближено 1,0.

Зважаючи на те, що 100 з точки зору теорії імовірності і математичної статистики є достатньо велика сукупність шматків в елементарному об'ємі і вона добре відповідає реальним потокам при подрібненні руди, математичну модель можливо розробляти при  $n=100$ . Середнє квадратичне відхилення  $\sigma = \sqrt{0,5n} = \sqrt{50} \cong 7$ . Імовірність відхилення певної кількості шматків від серед-

нього значення визначається формулою (5). Імовірності, розраховані за формулою (5) з врахуванням певних допущень, занесені до табл. 1.

Таблиця 1

Кількість відхилень сукупності шматків потоку від середнього значення в елементарному об'ємі дробленої руди при  $n=100$  на 1000 елементарних об'ємів

Кількість відхилених частинок	Імовірність відхилення	Кількість відхилень
0	0,0564 (0,0282)	56 (28)
1	0,0563	56
2	0,0541	54
3	0,05145	51
4	0,04797	48
5	0,04385	44
6	0,03928	39
7	0,03449	35
8	0,02967	30
9	0,0253	25
10	0,0207	21
11	0,01696	17
12	0,0135	14
13	0,0103	10
14	0,008	8
15	0,0058	6
16	0,0044	4
17	0,0032	3
18	0,0023	2
19	0,0015	2
20	0,00105	1
21	0,00069	1
22	0,00119	1
	0,529 (0,5008)	528 (500)

По даним ймовірностей можна визначити кількість кожної з подій на певну кількість випробувань. Оскільки для визначення кореляційної функції випадкової функції з задовільною точністю треба, щоб кількість точок складала не менше сотні, а інколи і кількох сотень, число елементарних об'ємів необхідно задавати не менше 1000. Кількість відхилень кожної сукупності шматків руди, визначена за ймовірностями, не буде цілим числом, тому зробимо округлення відповідно математичним правилам. Ці дані також занесені до табл.1. Сума всіх відхилень одного знаку, якщо кількість нульових відхилень поділити навпіл, складає 500, що відповідає сумарній імовірності 0,5. Математична модель ви-

падкової функції буде вміщувати 1000 елементарних об'ємів з перерахованими відхиленнями – по 500 з кожним знаком. Послідовність розташування елементарних об'ємів буде величиною випадковою. Випадковість забезпечувалась таким чином. Відбирались кульки однакового розміру з одного і того ж матеріалу. На кульки наносились цифри, які відповідали кількості відхилених частинок від середнього значення. Крім того, на кульки ставились знаки “+” або “-”. Всього кульок було 1000 штук. Наприклад, з цифрою “14” було вісім кульок зі знаком “+” і вісім зі знаком “-”. З цифрою “1” було 56 кульок зі знаком “+” і 56 кульок зі знаком “-” і т.д. Всі кульки старанно перемішувались і висипались в автоматичний бункерний завантажувально-орієнтуєчий пристрій, розрахований на роботу з таким розміром тіл. При роботі пристрою кульки по одній послідовно видавались на вихід, їх цифра і знак фіксувались. Таким чином отримувалась реалізація випадкової функції, яка вміщувала 1000 елементарних об'ємів з усіма можливими відхиленнями кількості шматків руди від середнього значення. Повторні реалізації випадкової функції мали один і той же характер.

Кореляційна функція розраховувалася за залежністю

$$K_{\xi}(B) = \frac{1}{1000 - B} \sum_{i=1}^{1000-B} \xi^o(t_i) \cdot \xi^o(t_{i+B}), \quad (12)$$

де 1000 – кількість однакових частин, що мають довжину елементарного об'єму  $\Delta V$ , на які розбита випадкова функція;  $B=0, 1, 2, \dots$  - число, що дорівнює певній кількості частин, на які розбита випадкова функція, взятих для визначення зв'язку між її значеннями;  $\xi^o(t_i)$  – значення центрованої випадкової функції в  $i$ -му перерізі;  $\xi^o(t_{i+B})$  – значення центрованої випадкової функції в перерізі, віддаленому на  $l$  - елементарних об'ємів.

Обробка результатів моделювання по залежності (12) показала, що кореляційна функція випадкового процесу достатньо швидко затухає і має затухаючу коливальну складову. Її можливо апроксимувати, наприклад, виразом

$$K_{\xi}(\tau) = \sigma_{\xi}^2 e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau, \quad (13)$$

де  $\tau$  – відрізок часу або відстань в  $l$  елементарних об'ємів;  $\sigma_{\xi}^2$  – дисперсія випадкової функції;  $\alpha, \beta$  – сталі, що характеризують випадкову функцію.

Характер кореляційної функції однаковий як для випадкової функції  $\xi(t)$  при впливі на опорний ролик одного елементарного об'єму  $\Delta V$ , так і при одночасній дії ряду елементарних об'ємів. При збільшенні швидкості переміщення матеріалу тривалість викидів буде зменшуватись, що приводить до зростання коливальності випадкового процесу. Залежність тривалості викидів випадкової функції від швидкості переміщення матеріалу відповідно (7) показана на рис.2. З рис. 2 видно, що дана залежність в межах значень швидкостей матеріальних потоків на збагачувальних фабриках наближена до лінійної при значних змінах числа елементарних об'ємів, які створили викид випадкової функції за її середнє значення. Зміна коливальності випадкової функції приводить до зменшення або збільшення сталих  $\alpha$  і  $\beta$  кореляційної функції у відповідності до швидкості

переміщення матеріалу. У діапазоні розглянутих швидкостей руху матеріалу коливальність випадкової функції достатньо висока, що говорить про вміст високочастотних складових.

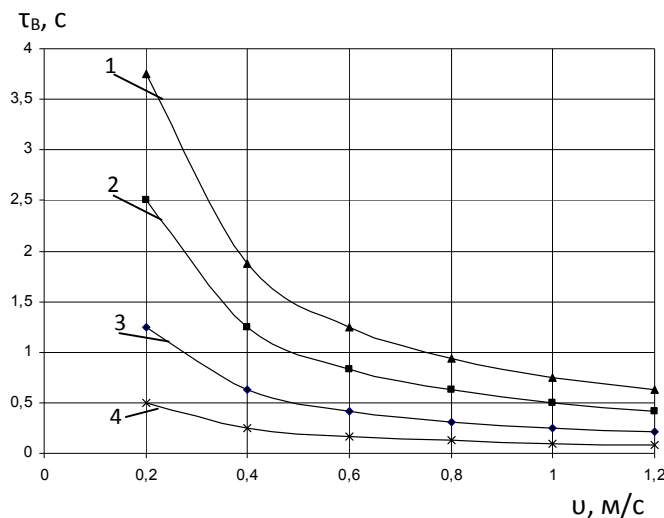


Рис. 2. Залежність тривалості викидів випадкової функції від швидкості переміщення матеріалу при  $a=0,01$  м і різних значеннях  $c$ : 1 – 75; 2 – 50; 3 – 25; 4 – 10 елементарних об'ємів

Зміна крупності матеріалу приводить до зміни параметра  $a$  у залежності (7), що вплине на тривалість викиду  $\tau_B$ . Враховуючи, що середня крупність шматків руди в технологічних процесах у широких межах не змінюється, коливання розміру шматків суттєво не вплинуть на параметри випадкової функції, які в основному визначаються природою її коливальності – порядком формування тривалості і зміни знаку викидів.

Отже, опорний ролик конвеєра може слугувати джерелом інформації про математичне сподівання навантаження на стрічці та його змінну складову, яка відрізняється

достатньо високочастотними гармоніками. Змінна складова може стати перешкодою при вимірюванні навантаження на конвеєрній стрічці в залежності від її амплітудних значень. Максимальну чутливість процесу можна визначити за формулою

$$\delta = \frac{\sqrt{2n}}{n} \cdot 100\% . \quad (14)$$

Величина  $\delta$  характеризує відносні зміни кількості шматків руди у елементарному об'ємі  $\Delta V$  потоку. Якщо ця величина буде занадто малою, то зміну кількості шматків руди зафіксувати практично не буде можливо. Із залежності (14) видно, що з ростом  $n$  максимальна чутливість процесу буде зменшуватись. Аналіз показує, що при  $n \approx 100$  зміни  $\delta$  складають близько 14 %, при  $n \approx 1000$  ця величина дорівнює 4...5 %. Якщо  $n \approx 10000$ , зміни кількості шматків руди складають близько 1,5 %. На силу, прикладену до опорного ролика, практично не буде впливати змінна складова при  $n > 10^4$  шматків руди у поперечному перерізі потоку. У реальних умовах транспортування матеріалу на збагачувальних фабриках  $n$  наближено дорівнює 100, що відповідає зміні до 14 %. При збільшенні базової відстані на опорний ролик буде одночасно тиснути ряд елементарних об'ємів з незмінним математичним сподіванням  $bn$ . Змінна складова за час проходження одного елементарного об'єму може приймати найбільше значення, що дорівнює різниці у відхиленнях шматків руди у елементарному об'ємі, який виходить та заходить у базову відстань, тобто це буде при  $n=100$  не більше [22]. Аналіз показує, що в умовах завантаження барабанних млинів рудою відносно значення амплітуди змінної складової може при  $B=1$  м доходити до 0,25...0,55 %, що впливатиме на



пониження точності визначення поточного навантаження конвеєрної стрічки рудою. Змінна складова представлена коливаннями значної частоти.

Задача розглянута для ідеального випадку, коли подрібнений матеріал складався з шматків руди, що мають однакову форму і розміри. У реальних умовах матеріал містить суміш шматків різної форми і розмірів. Тоді розглянуті залежності будуть притаманні кожному класу крупності. Випадкова функція буде багатовимірною, що характеризується складовими відхиленнями в окремих класах крупності.

На збагачувальних фабриках завантаження конвеєрів здійснюють або регулюванням висоти насипання матеріалу, або зміною швидкості конвеєрної стрічки. При регулюванні висоти насипання матеріалу змінюється площа поперечного перерізу потоку, тобто величина  $n$ . Наприклад, більше  $n$  приводить до зростання  $bn$ , однак кількість відхилених шматків руди при цьому також зростає, що робить амплітудні умови практично незмінними. Якщо регулювати швидкість конвеєрної стрічки, то при цьому амплітудні умови залишаються незмінними, а коливальність процесу буде залежати від швидкості переміщення конвеєрної стрічки.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень встановлено, що навантаження опорного ролика конвеєра складається з усталеного значення та змінної складової. Усталене значення формується середнім вмістом шматків руди, а змінна складова їх відхиленнями від цього значення. Навантаження опорного ролика одним вертикальним стовпчиком потоку відрізняється високою динамічністю. Тут відхилення навантаження від середнього значення може досягати 14 %. Змінна складова являє собою випадковий процес з дисперсією, що дорівнює середній кількості шматків руди, які тиснуть на опорний ролик, і кореляційною функцією, що затухає і містить затухаючу коливальну складову. Зміна швидкості конвеєрної стрічки впливає на коливальність випадкової функції з забезпеченням наближено лінійних зв'язків. Випадкова функція відрізняється високочастотними складовими, що визначаються середнім розміром шматків руди і швидкістю руху матеріалу. Збільшення базової відстані між несучими роликами приводить до зменшення амплітуди коливань, однак при прийнятому її значенні в один метр відносне відхилення складає 0...0,55 %, що може суттєво знижувати точність вимірювання. Якщо матеріал буде розташовано більш нерівномірно, наприклад в наслідок сегрегації, ця складова може бути значно більшою.

У процесі проведених досліджень вперше теоретично описаний механізм впливу нерівномірності розподілу дробленого матеріалу на показання конвеєрних вагів, що дозволяє більш ефективно здійснювати удосконалення їх характеристик. Практична значущість проведених досліджень полягає у тому, що отримані конкретні значення характеристик випадкової функції змінної складової навантаження опорного ролика придатні для використання при стабілізації розрідження пульпи у млинах з циркулюючим навантаженням.

Перспективою подальших досліджень є можливість підвищення точності конвеєрних вагів та їх ефективного застосування у сучасних системах автоматизації процесів збагачення руд.

#### Список літератури

1. Пат. 59644 Україна, МПК В03В 11/00, В02С 25/00. Спосіб автоматичної стабілізації розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням / Кондратець В.О., Сербул О.М.; заявник і патентовласник Кіровоградський нац. техн. у-т.- №2002118758; заявл. 05.11.02; опубл. 15.04.05, Бюл. №4.
2. Пат. 40465 Україна, МПК В03В 11/00, В02С 25/00. Пристрій автоматичної стабілізації розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням / Кондратець В.О., Сербул О.М.; заявник та патентовласник Кіровоградський нац. техн. ун-т. - №u200813005; заявл. 10.11.08; опубл. 10.04.09, Бюл. №7.
3. Волотковский С.А. Автоматизация производственных процессов на обогатительных фабриках / С. Волотковский, В. Бунько.- М.: Недра, 1964.- 282 с.
4. Автоматизация управления обогатительными фабриками / [Кошарский Б.Д., Ситковский А.Я., Красномовец А.В. и др.].- М.: Недра, 1977.- 527 с.
5. Троп А.Е. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик / Троп А.Е., Козин В.З., Прокофьев Е.В.- М.: Недра, 1986.- 303 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мещераковим Л.І.*

*Надійшла до редакції 11.11.13*

УДК 624.154.1

© Н.В. Зуєвська, М.О. Гембарська

### **ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОСНОВИ ПАЛЕВОГО ФУНДАМЕНТУ**

В роботі порівнюються результати досліджень впливу палевого фундаменту на ґрунтову основу з використанням ростверку відповідної жорсткістю по випробуванням на будівельному майданчику та з застосуванням програмного комплексу Plaxis 3D foundation.

В работе сравниваются результаты исследования влияния свайного фундамента на ґрунтовую основу с использованием ростверка определенной жесткости по испытаниям на строительном участке и с применением программного комплекса Plaxis 3D foundation.

The results of researches about influence of pile's foundation with grillage of certain inflexibility to the basement according to tests on a build area and with the use of programmatic complex Plaxis 3d foundation are compared in this article.

**Вступ.** Значення пальових фундаментів важко переоцінити, вони займають значну нішу як в цивільному, так і в промисловому будівництві. Проблемі взаємодії паль з ґрунтовою основою присвячено багато робіт, і на даний момент характер роботи одиночної палі є достатньо вивченим. Однак питання роботи і взаємодії групи паль, в тому числі в куці, є проблемним. Це пояснюється тим, що взаємодія палі з оточуючим ґрунтовим масивом має складний нелінійно-просторовий характер, а при зведені групи паль виникають додаткові фактори впливу, наприклад такі як: співвідношення діаметра палі і відстані між ними, відстані між палями і довжиною паль, ширини ростверку і довжини паль, жорсткості ростверку тощо.